

Aprofitament d'energia solar mitjançant motor Stirling.

Joan Luis Benejam Bagur.

ENGINYERIA TÈCNICA INDUSTRIAL ESP. MECÀNICA. EPSEVG.

Resum

En aquest projecte hem estudiat el mètode d'aconseguir electricitat mitjançant una tecnologia anomenada Disc-Stirling. Aquesta tecnologia està formada per tres parts essencials; la primera part és, la captació d'energia solar i concentració, la segona consisteix en la transformació d'aquesta energia tèrmica en energia mecànica, i la tercera és l'encarregada de la transformació d'aquesta energia en energia elèctrica.

També hem estudiat com podríem adaptar diferents elements ja mecanitzats per poder fer-los servir amb aquesta tecnologia. Hem estudiat quins materials són més òptims, quines avantatges i inconvenients ens hem trobat, i les possibles solucions escollides.

Farem els càlculs necessaris per poder dissenyar un prototip que ens pugui aportar una potencia teòrica de 500W.

1. Introducció

El motiu d'aquest projecte sorgeix a partir de les inquietuds personals de com poder aconseguir energia, d'una manera respectuosa amb el medi ambient.

En l'actualitat hi ha un tipus de tecnologia anomenada Disc-stirling, que s'adapta a les condicions inicials, aquesta tecnologia que està en fase experimental podria solucionar molts problemes relacionats amb la manca d'accés a la xarxa elèctrica en llocs remots o de difícil accés.

La generació d'electricitat mitjançant energia solar es denomina, energia solar termoelectrica, hi ha tres sistemes.

El sistema Cilindre parabòlic; aquest sistema treballa concentrant l'energia solar en un tub, que a dins d'aquest tub hi circula un fluid, després s'utilitza aquest fluid per a produir vapor, moure una sèrie de turbines i produir electre, Aquest sistema el vam descartar per a la dificultat de regular la producció de vapor i la dificultat d'emmagatzematge dels fluid a altes temperatures.

L'alta sistema consisteix amb un camp d'heliòstats (miralls que segueixen la trajectòria del sol). I concentren l'energia procedent del sol a una torre, on hi circula un fluid, després s'aprofita la calor d'aquest fluid per a la producció de vapor.

Aquest sistema també el vam descartar degut a que no és rentable a petita escala i la seva construcció és molt complicada.

Per això vam escollir el sistema Disc-Stirling tot seguit exposarem els avantatges i inconvenients;

Avantatges:

- Capacitat d'instal·lar-se en qualsevol lloc i terreny.
- Capacitat d'emmagatzemar energia mitjançant acumuladors .
- Simplicitat en el disseny.
- Rendiments del 20% al 30% anual.
- Tecnologia disponible.
- Cost variable.

Inconvenients.

- Seguiment solar continu.
- Treballa a altes temperatures.

Per a més informació sobre la energia solar termoelectrica podeu consultar [1][2][3].

En la següent figura podem observar un sistema Disc-Stirling.



Fig. 1. Disc-Stirling de la empresa INFINA.

En l'actualitat hi ha una sèrie d'empreses que fabriquen aquests sistemes, no obstant aquesta tecnologia encara està en fase experimental.

Aquesta tecnologia ajuda a reduir els gasos que provoquen el canvi climàtic ja que la seva producció de CO_2 és 0, a més de tenir un impacte mediambiental molt reduït.

El motor Stirling va ser patentat en el segle XVIII, exactament el 1816 per el Sr. Robert Stirling, però no ha estat fins els darrers 50 anys que aquest tipus de motor s'ha començat a desenvolupar.

El motor Stirling està format per tres parts;

- La zona calenta.
- La zona freda.
- El regenerador

La zona calenta està formada per una cavitat normalment cilíndrica, hermètica, en el qual, a dins hi ha un pistó que es desplaça de manera lineal a través del cilindre. En aquesta part hi apliquem calor.

La zona freda es pot considerar el mateix que la zona calenta però envers d'aplicar calor dissipem calor, hi ha varis sistemes per dissipar calor mitjançant aletes, fent re circular un fluid refrigerant etc..

El generador és una part molt important ja que fa que el cicle sigui més eficient, ajudant en el procés d'escalfament i refredament, escurçant el temps del cicle.

Degut a que el motor Stirling és una part fonamental en el projecte, explicarem el seu funcionament amb l'ajuda d'una il·lustració;

En l'estat inicial el motor està en repòs. Comencem a escalfar la Zona calenta. Tot seguit aportem un petit impuls al volant en sentit antihorari.

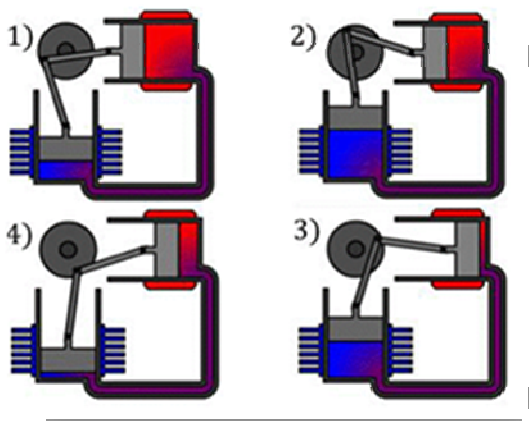


Fig. 2. Diagrama Motor Stirling.

Aquestes són les quatre etapes del motor Stirling, en l'etapa (1) comprimim el gas disposat en zona freda obligant a que vagi a la zona calenta, (2) el gas es dilata degut al l'augment de temperatura, (3) enviem tot el gas calent a la zona freda provocant la seva contractió degut a la baixada de temperatura, (4) enviem tot el gas a la zona calenta per tornar a començar amb el cicle.

Cal dir que és més complexa que tot això però és una manera molt pràctica per entendre el funcionament del motor Stirling, en aquest esquema podem apreciar que no hi ha el generador, en tot cas si n'hi hagués estaria instal·lada en el conducte que uneix la zona calenta amb la zona freda.

Ara que ja hem explicat una mica els diferents components del projecte ens introduïrem en l'estudi de les parts implicades.

2. Estudi del disc parabòlic

En l'estudi que hem realitzat, sobre els discs parabòlics, hem fet referència als diferents tipus de materials que s'utilitzen per a reflectir els rajos solars diferents tipus de estructures i fabricants.

Després d'analitzar quines són les avantatges i inconvenients de cada material i sistema, al realitzar els càlculs corresponents. Hem arribat a les següents conclusions

La solució per el nostre projecte ha estat la següent;

El disc parabòlic tindrà una àrea útil de $3m^2$ amb un diàmetre de $1.96m$. L'estructura serà metàl·lica, i el material encarregat de reflectir els rajos solars serà una lamina tensionada anomenada Mylar, aquest material va ser creat per la NASA[2][5] l'any 1964, hem elegit aquest tipus de material degut a les característiques que ens proporciona i al baix cost entre 6-18 € el metre quadrat.

La radiació total rebuda és de 2330 W, partint de la base d'un càlcul amb una potencia de radiació solar de $800 w/m^2$

La radiació final que arriba al motor és de 2056 W ja que hi ha pèrdues per la reflexió i per el seguiment solar

El concentrador solar és el punt on es dirigeixen els rajos del sol en aquest punt la radiació solar és de $305732 w/m^2$ amb una concentració solar de 382 sols, ens indica el numero de sols que incideixen en la superfície. Aquest càlcul es realitza dividint l'àrea del concentrador, per l'àrea de la paràbola.

3. Estudi del Motor Stirling.

En aquest apartat hem estudiat el motor Stirling, primer explicarem quin procediment de càlcul hem escollit. Per a simplificar, els càlculs, hem escollit l'equació de Beale [4];

$$P_B = B \cdot P_m \cdot f \cdot V$$

On; P_B = potencia de Beale en W

B= numero de Beale

P_m = Pressió mitjana Efectiva

f= freqüència en Hz

$V = \text{volum en cm}^3$

Hem escollit aquesta equació ja que ens dona un punt de partida per a dissenyar el motor Stirling, un dels problemes que es hem trobat és, per exemple, per fer el pre-dimensionament, la pressió del fluid depèn de la temperatura i del volum això fa que entrem en un espiral sense sortida i no puguem calcular ja que un valor depèn de l'altre, per això vam decidir utilitzar l'equació de Beale, ja que coneixem tots els valors menys el volum i el coeficient de Beale que tot seguit explicarem el que s'ha de fer per obtenir-lo.

Per obtenir el Número de Beale necessitem saber la temperatura màxima de treball, una volta sabem això, necessitem saber si el nostre mecanisme està ben optimitzat o poc optimitzat quan tinguem totes aquestes dades podem trobar el número de Beale a la gràfica següent;

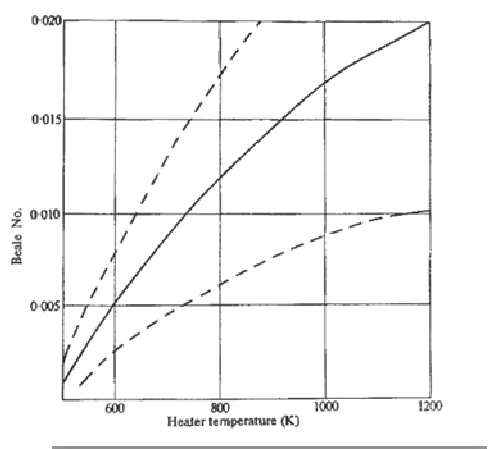


Fig. 3. Gràfica de Beale.

On tenim en l'eix X, la temperatura en graus Kelvin i en l'eix Y tenim el número de Beale.

La línia contínua significa que el mecanisme és un mecanisme amb un nivell d'optimització mitja les línies inferior i superior indiquen el valor a escollir en cas de que sigui un mecanisme poc o molt optimitzat respectivament.

3.1 Estudi termodinàmic del cicle teòric Stirling.

Com que el motor Stirling és un motor tèrmic hi ha que fer un estudi termodinàmic, ja que el procediment del càlcul termodinàmic és un procediment molt meticulós i lent, vam proposar de fer una modelització, juntament amb l'estudi del motor Stirling, per a facilitar i alleugerir els càlculs, així si ha que fer alguna modificació només s'ha de canviar els paràmetres d'entrada de la fulla d'Excel, això ha estat un gran avanç ja que ens ha simplificat molt el treball, cal dir que a la memòria hi ha els càlculs fets de manera manual, per calcular les potències de refrigeració, i escalfament de les diferents parts del motor.

Per més informació veure [6][7][8] i annexos [1][2] de la memòria.

4. Treball de camp.

El treball de camp fa referència a la recerca d'elements que puguem adaptar en el nostre projecte. Exactament en el disseny del motor Stirling. Vam optar per buscar en el mercat industrial si hi havia cap sistema mecànic que ens pogués ser útil o vàlid per adaptar-lo per a que funcionés com a motor Stirling ja que econòmicament era inviable adquirir un motor, i així al mateix temps donar una nova utilitat a un producte.

Després d'uns mesos de recerca descartant possibles alternatives, vam arribar a la conclusió que la millor solució, eren els motors de compressors d'aire i/o refrigerants, ja que tenen quasi tots els elements mecànics necessaris ja instal·lats, això ens permetria una reducció dràstica en el temps de fabricació d'un motor tipus Stirling i tots els seus components.

L'única part que no inclou un motor d'aquestes característiques és el regenerador que s'hauria de dissenyar i fabricar completament, no obstant no hem pogut adquirir el motor degut a dificultats de logística.

5. Estudi part elèctrica

Després d'estudiar quina era la millor manera de generació d'electricitat vam arribar a la següent conclusió.

Degut a que en l'actualitat el sistema d'acumulació d'electricitat es limita a acumuladors estacionaris de corrent continu de 2 a 48V, tenim la necessitat de produir una corrent elèctrica del tipus corrent continu per poder carregar els acumuladors. Dit això hi ha dues possibles solucions utilitzar una dinamo o un alternador amb rectificador a corrent continu, després d'analitzar els avantatges i inconvenients la solució escollida va ser l'alternador.

Tot seguit indicarem algunes de les avantatges de l'alternador referent a la dinamo:

- L'alternador no porta col·lector per a la commutació de la corrent, donat que la rectificació de la mateixa s'aconsegueix en un pas posterior a la seva producció, eliminant per tant el perill de centrifugació del col·lector a altes revolucions.
- La bobina inductora està assegurada entre les masses polars, formant un conjunt compacte, unit a l'absència del col·lector. El rotor pot girar a grans revolucions sense cap perill.
- Té menor volum de pes que la dinamo per a una mateixa potència útil, entregant la seva potència nominal a un reduït de revolucions.
- L'alternador no necessita limitador d'intensitat; a tensió regulada constant, la corrent s'autolimita per saturació magnètica del camp inductor. Tampoc necessita disjuntor en el grup regulador, ja que els díodes del pont rectificador impedeixen la descarga de les bateries a través dels enrotllaments del estator o induït.

Com podem apreciar l'alternador ens proporciona grans avantatges respecte la dinamo.
L'alternador escollit és: A13N269 60A amb rectificador incorporat.

6. Estudi econòmic.

En l'estudi econòmic, hem calculat el cost de fabricació de les diferents parts del conjunt Disc-Stirling.

La primera part, la captació solar, té uns costos fixos referent al material i al seguiment solar, depenent de la qualitat, i uns costos variables depenent del muntatge i mecanització.

El cost de la part del motor Stirling serà depenent del tipus de motor escollit.

En la part elèctrica, els costos es repartiran en potència i control arribant a ser major la part de control que la part de potència, els costos variables d'aquest apartat dependran de la qualitat del producte.

En conclusió depenent dels materials i els components que formen part del Disc-Stirling, el cost total variarà, com a valor màxim, amb la possibilitat d'arribar a ser superior, l'hem estimat a 2237€ uns 4,47€/W instal·lat, amb una reducció de fins als 1330€ uns 2,67€/W instal·lat en el cas més econòmic.

7. Conclusions.

La energia solar és un recurs il·limitat, estem en una regió privilegiada per aprofitar aquesta energia només cal hi posem de la nostra part. Referent al motor Stirling s'han aconseguit resultats sorprenents en prototips, amb uns rendiments de l'ordre 30% i 40% i més de 30.000 hores de funcionament. En el nostre estudi amb les condicions inicials arribem al 29'7% de rendiment teòric. Després s'hauria de contrarestar amb els resultats dels assajos.

8. Observacions

Degut a la recerca d'informació i a la casualitat hem contactat amb una empresa d'Alemanya que es dediquen a la fabricació de motors Stirling, amés tenen un producte anomenat ST05G-CNC amb una potència de sortida de 500W la mateixa que el nostre projecte, la diferència és, que ells han enfocat el motor cap a la utilització d'energia procedent de la combustió d'un combustible. Hens vam posar en contacte amb aquesta empresa, i els hi vam proposar de realitzar un estudi per implementar el seu motor al nostre projecte, això ens dona una continuïtat en la vida del projecte, i una possible relació d'I+D, i qui sap en un futur una relació comercial.

9. Agraïments.

M'agradaria agrair a totes les persones que m'han ajudat a realitzar aquest projecte, i m'han fet costat en els moments difícils, també al tutor Sr Josep Font Mateu per les hores que ha dedicat per que aquest projecte es portés a terme.

10. Referències

- [1] Tecnología de las energías renovables José M^a. Fernández Salgado. Primera edició (2009).
- [2] Tecnología solar. M. Ibañez Plana, J.R. Rosell Polo, J. I. Rosell Urrutia.
- [3] Impacto marcoeconómico del sector solar termoelectrico En España" elaborado por Deloitte 2010
- [4] <http://www.elsevier.com/locate/rser> A review of solar-powered Stirling engines and low temperature differential Stirling engines Bantha Kongtragool, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 91 Prachautit Road, Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140, Thailand Received 19 July 2002; received in revised form 12 September 2002; accepted 3 October 2002
- [5] www.nasa.com The Total Irradiance Monitor Design and On-Orbit Functionality Greg Kopp, George Lawrence, Gary Rottman Laboratory for Atmospheric and Space Physics, Univ. of Colorado 1234 Innovation Dr., Boulder, CO 80303
- [6] Ingeniería térmica 1 Dr. Jaume Miquel Masalles, Departament de Mecànica de fluids, EPSEVG (UPC)
- [7] Mechanical Efficiency of Heat Engines. James R. Senft.
- [8] Alan Altman, "Stirling Engine heat Transfer – A Snappy Primer"
- [9] Walker Graham, "Stirling Engines"